

Prostorska spremenljivost prepuščenih padavin pod krošnjo breze

Katarina Zabret*, Mojca Šraj*

Povzetek

Padavine, ki padejo na vegetacijo (drevesa), se razdelijo na prestrežene padavine, prepuščene padavine in odtok po deblu. Razporeditev prepuščenih padavin po prostoru je zaradi predhodnega zadrževanja v drevesni krošnji nehomogena. Prepuščene padavine smo v raziskavi merili pod krošnjo breze, ki je v letu 2016 v povprečju na dogodek prestregla 48% (\pm 33%) padavin. Za 30 izbranih dogodkov s skupno količino padavin 738,8 mm smo podrobno analizirali prostorsko spremenljivost prepuščenih padavin v 11 točkah. Delež prepuščenih padavin je bil največji v točki, nad katero je bila pokritost s krošnjo najmanjša, velika koncentracija pa je prevladovala tudi na robu krošnje. Pri več kot polovici dogodkov smo v vsaj eni točki izmerili večjo količino prepuščenih padavin kot je bilo padavin na prostem. Prostorska razporeditev prepuščenih padavin pod brezo ni bila odvisna od oddaljenosti od drevesne krošnje temveč od lastnosti krošnje in lastnosti padavinskega dogodka.

Ključne besede: prestrežene padavine; prepuščene padavine; breza; hierarhično razvrščanje

Key words: rainfall interception; throughfall; birch tree; hierarchical clustering

Uvod

Vegetacija je pomemben element v našem okolju, ki jo je potrebno upoštevati tudi pri ovrednotenju hidrološkega kroga. Vegetacija namreč del padavin prestreže in s tem vpliva na količino padavin, ki prispevajo k odtoku. Padavine, ki padejo nad tlemi, pokritimi z vegetacijo, se razdelijo na prestrežene padavine, prepuščene padavine in odtok po deblu. Prestrežene padavine so tiste, ki tal ne dosežejo, ostanejo zadržane na vejah in listju ter izhlapijo nazaj v ozračje. Prepuščene padavine dosežejo tla na različne načine: kot direktno prepuščanje, kapljanje ali kot skladiščene padavine (Dunkerley, 2000; Bassette in sod., 2008). Direktno prepuščene padavine padejo skozi odprtine med vejami in listi ter nimajo neposrednega stika z drevesno krošnjo (Brandt, 1989). Kapljanje opisuje prepuščene padavine, ki so najprej zadržane v krošnji, nato pa zaradi zasičenosti krošnje padejo na tla, skladiščene padavine pa so prav tako zadržane v krošnji, vendar na tla padejo zaradi vpliva zunanjih dejavnikov kot so tresljaji zaradi padavin ali vetra (Levia in sod., 2017). Odtok po deblu pa opisuje tiste padavine, ki po vejah in deblu pritečejo do tal. Na to, kolikšen delež predstavlja katera izmed komponent prestrezanja padavin, vplivajo različne vegetacijske (npr. fenofaze, površina krošnje, debelina lubja, indeks listne površine (LAI), naklon vej) in meteorološke (npr. količina padavin, trajanje dogodka, hitrost in smer vetra, temperatura) spremenljivke (Crockford in Richardson, 2000; Xiao in sod., 2000; Deguchi in sod., 2006; Andre in sod., 2008; Šraj in sod., 2008; Zabret, 2013; Zabret et al., 2015).

Prehajanje padavin skozi drevesno krošnjo zaradi različnih komponent in vplivnih spremenljivk ni homogeno. Tako pride do prostorske spremenljivosti v količini prepuščenih padavin, v njihovi intenziteti, pa tudi v kemijski sestavi (Keim in sod., 2018). Med začasnim zadrževanjem padavin v krošnji, te ne mirujejo, ampak se gibljejo oziroma

* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

tečejo po vejah in listju (Herwitz, 1987). Raziskave prostorske spremenljivosti prepuščenih padavin pogosto poročajo o točkah, v katerih je bila količina prepuščenih padavin pod drevesom večja od količine padavin na prostem (Gomez in sod., 2002; Carlyle-Moses in sod., 2004; Keim in sod., 2005; Šraj in sod., 2008; Yousefi in sod., 2017; Zabret in sod., 2017). Take točke največkrat imenujemo točke kapljanja (ang. *drip points*; Carlyle-Moses in sod., 2004; Šraj in sod., 2008) ali vroče točke (ang. *hot spots*; Yousefi in sod., 2017).

Prostorsko spremenljivost prepuščenih padavin so pogosteje raziskovali v gozdovih (Carlyle-Moses in sod., 2004; He in sod., 2014; Kowalska in sod., 2016; Dohnal in sod., 2017; Yousefi in sod., 2017) kot pod posameznimi drevesi (Gomez in sod., 2002; Nanko in sod., 2011; Fang in sod., 2015). V gozdovih zaradi strnjenosti drevesnih krošenj, ki se med seboj prekrivajo, težje ovrednotimo vpliv njihovih lastnosti na porazdelitev prepuščenih padavin. V predstavljeni raziskavi smo spremljali količino prepuščenih padavin v 11 točkah pod drevesno krošnjo posameznega drevesa. Naš namen je bil, poleg nekaterih osnovnih meteoroloških spremenljivk (količina padavin, trajanje in intenziteta dogodka), ovrednotiti tudi vpliv lastnosti drevesne krošnje na prostorsko porazdelitev prepuščenih padavin in ugotoviti, ali je ta res odvisna od oddaljenosti od debla.

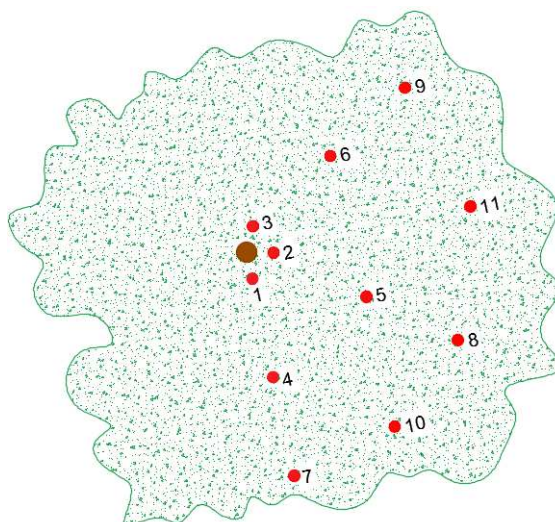
Metode in podatki

Raziskava poteka na eksperimentalni ploskvi v centru Ljubljane, v bližini stavbe Oddelka za okoljsko gradbeništvo UL FGG (46°02'32" severno in 14°29'34" vzhodno, na 292 m nadmorske višine). Gre za približno 600 m² veliko travnato površino, na kateri na zahodni strani najdemo dve skupini dreves: severno rastejo borova drevesa (*Pinus nigra*), južno pa breze (*Betula pendula*).

Prepuščene padavine pod brezo smo merili z dvema koritoma s površino 0,75 m², ki sta postavljeni od debla proti robu krošnje. Prepuščene padavine iz enega korita se stekajo v plastične zbiralnice z volumnom 10 in 50 litrov, ki jih redno ročno praznimo. Drugo korito pa je povezano s prekucnikom (Unidata 6506G) in avtomatskim zapisovalnikom podatkov (Onset HOBO Event). V koncentrični mreži pa je pod drevesno krošnjo razporejenih še 11 totalizatorjev (78,5 cm²), ki jih prav tako praznimo ročno.

Totalizatorje smo razporedili pod delom drevesne krošnje, kjer smo lahko zanemarili vpliv bližnje stavbe in ni bilo prisotnega prekrivanja krošenj med sosednjimi drevesi. Po tri merilnike smo postavili v tri linije od drevesnega debla proti robu krošnje v koncentrično mrežo (Slika 1). Med totalizatorji na zunanjem robu, ki so bili med seboj najbolj oddaljeni, smo postavili še po dva dodatna totalizatorja.

Odtok po deblu smo zbirali z gumijasto polcevko, ki je ovita okrog drevesnega debla in nanj pritrjena z žeblički ter zatesnjena s silikonom. Zbrane padavine se stekajo na prekucnik z avtomatskim zapisovalnikom podatkov (Onset RG2-M, Onset HOBO Event). Padavine na prostem smo merili na čistini, ki se nahaja na vzhodnem delu eksperimentalne ploskve. Meritve padavin potekajo z avtomatskim dežemerom Onset RG2-M (0.2 mm/prekuc) z avtomatskim zapisovalcem podatkov (Onset HOBO Event).



Slika 1: Postavitev totalizatorjev pod krošnjo breze

Lastnosti krošnje smo opisali z naslednjimi spremenljivkami: vegetacijsko obdobje, indeks listne površine (ang. *Leaf Area Index*, LAI) in pokritost površine s krošnjo. Vegetacijska obdobja za brezo smo določili na podlagi opazovanj stanja listja: začetek olistanja, polna olistanost krošnje, začetek rumenenja in odpadanja listja ter krošnja brez listja. Definirali smo jih kot obdobje gole krošnje, obdobje ozelenjevanja, obdobje olistane krošnje in obdobje odpadanja listja. Pri določanju polne olistanosti krošnje smo si pomagali tudi z meritvami LAI. LAI opisuje količino vse listne površine v krošnji in je enak skupni enostranski površini zelenih listov na enoto površine [m^2/m^2] (Zabret, 2013). Meritve smo izvajali s senzorjem LAI-2200C (LI-COR) z 90° zaslonko leče. Meritve pod posameznim drevesom smo izvajali izmenično na prostem in pod krošnjo v štirih ponovitvah. Točke meritev pod krošnjo so bile vnaprej določene in vedno iste, postavljene na višini 1,5 m od tal. Meritve smo izvajali občasno, v povprečju enkrat na mesec, v obdobjih ozelenjevanja in odpadanja listja pa praktično vsak dan. Za posamezne točke pod krošnjo, kjer smo merili prepuščene padavine s totalizatorji, pa smo določili tudi pokritost s krošnjo (delež neba, zakritega z vejami in listjem). Na vrh posameznega totalizatorja smo vzporedno s tlemi in pravokotno na drevesno deblo postavili fotoaparata (Sony DSC-RX100M2) in posneli fotografije z 1,4-kratno povečavo. Fotografije smo v programu ImageJ obrezali na velikost 2200 x 3080 pikslov, jih pretvorili v 1-bitne slike ter določili število belih (nebo) in črnih (krošnja) pikslov. Iz deleža črnih pikslov smo izračunali pokritost s krošnjo nad vsako točko meritev prepuščenih padavin.

Za osnovne statistične analize izmerjenih vrednosti smo uporabili program Excell, analizo prostorske razporeditve prepuščenih padavin pa smo izdelali v programu R (R Core team, 2015). Pri tem smo uporabili funkcijo `levelplot` v paketu `lattice` (Sarkar, 2017). Tako pripravljene slike smo z uporabo programa Orange (Demsar in sod., 2013) po Wardovi metodi hierarhično razvrstili v skupine, pri čemer smo upoštevali kosinusno razdaljo, ki je za razvrščanje slik najbolj primerna.

Rezultati

Prepuščene padavine, odtok po deblu in prestrežene padavine

V analizi prostorske porazdelitve prepuščenih padavin pod brezo smo upoštevali podatke, zbrane v letu 2016. Tega leta smo z avtomatskimi merilniki zabeležili 113 padavinskih dogodkov, 72 v obdobju olistane krošnje, 35 v obdobju gole krošnje, 2 v času ozelenjevanja in 4 med odpadanjem listja. Skupno je padlo 1139 mm padavin s povprečno intenziteto 1,8 mm/h ($\pm 3,3$ mm/h), povprečna dolžina dogodka pa je bila 9,7 ur ($\pm 12,3$ h).

Pod brezo smo v celem letu namerili 831,6 mm prepuščenih padavin, povprečno na dogodek pa je delež prepuščenih padavin znašal 51% ($\pm 32\%$) in je bil v povprečju višji v obdobju gole ($65 \pm 29\%$) kot v obdobju olistane krošnje ($45 \pm 31\%$). Odtok po deblu je skupno znašal 31,7 mm, povprečno na dogodek pa je predstavljal le 0,9% ($\pm 1,9\%$) padavin na prostem. Delež prestreženih padavin breze se je v letu 2016 gibal med -9% in 100%, v povprečju pa je znašal 48% ($\pm 33\%$).

Prostorsko spremenljivost prepuščenih padavin smo spremljali z merilniki, postavljenimi v koncentrično mrežo. Merilnike smo praznili ročno, če se je le dalo po vsakem dogodku, kar pa ob vikendih, praznikih in ponoči ni bilo mogoče. V tej analizi smo upoštevali le tiste dogodke, za katere smo imeli hkrati na voljo ustrezne ročno pobrane in avtomatsko zabeležene podatke. Poleg tega smo izločili tudi dogodke z manj kot 5 mm padavin. Tako so za analizo prostorske porazdelitve prepuščenih padavin našim pogojem ustrezali podatki za 30 dogodkov (Preglednica 1). Skupno je tekom teh dogodkov padlo 738,8 mm padavin s povprečno intenziteto 2,0 mm/h ($\pm 1,43$ mm/h) ter v povprečnem trajanju 16,1 ur ($\pm 13,7$ h). Delež prepuščenih padavin pod brezo je v povprečju znašal 71% ($\pm 15\%$), odtok po deblu pa je bil enak 2,0% ($\pm 2,5\%$). Odtoka po deblu v 9 dogodkih ni bilo, največje vrednosti pa smo opazili v obdobju gole krošnje. V celoti je breza za izbrane dogodke prestregla 22,7% padavin.

Preglednica 1: Lastnosti izbranih 30 dogodkov

	DATUM	Padavine [mm]	Intenziteta [mm/h]	Trajanje [h]	Prepuščene padavine	Odtok po deblu	Prestrežene padavine
Gola krošnja	11.-12.1.2016	17,4	1,3	13,2	56%	0,0%	44%
	3.-4.2.2016	35,2	2,0	17,4	74%	9,7%	16%
	7.-8.2.2016	8,4	0,4	22,9	50%	1,4%	48%
	9.-10.2.2016	34,4	2,9	11,8	71%	3,1%	26%
	27.-29.2.2016	22,4	0,5	41,5	85%	0,9%	14%
	29.2.-1.3.2016	16,8	1,1	15,5	92%	0,9%	7%
Olistana krošnja	8.-10.4.2016	16,6	0,5	35,6	75%	4,0%	21%
	14.4.2016	22,2	2,7	8,3	76%	4,4%	20%
	23.-24.5.2016	8,4	0,4	21,6	84%	1,6%	14%
	30.-31.5.2016	6,4	0,4	14,7	75%	0,1%	25%
	5.6.2016	5,6	1,3	4,2	68%	0,2%	31%
	9.-10.6.2016	18,4	1,1	17,5	79%	3,5%	18%
	11.-12.6.2016	31	2,3	13,5	73%	1,6%	26%
	14.-15.6.2016	93	4,3	21,5	79%	0,5%	20%
17.6.2016	8	2,0	3,9	67%	0,0%	33%	

	20.6.2016	11,4	1,4	8,0	86%	3,1%	11%
	3.7.2016	36,8	2,8	13,1	86%	0,0%	14%
	13.-14.7.2016	26,6	7,3	3,7	86%	0,2%	14%
	18.7.2016	14,6	3,3	4,4	54%	0,0%	46%
	5.-6.8.2016	9	1,3	7,1	64%	0,3%	36%
	10.8.2016	28,8	2,1	13,7	69%	1,4%	29%
	17.8.2016	12,6	3,4	3,7	24%	0,0%	76%
	21.-22.8.2016	12,8	1,2	10,3	36%	0,0%	64%
	29.8.2016	5,6	2,6	2,2	61%	0,0%	39%
	1.-2.9.2016	16,6	3,6	4,6	67%	0,0%	33%
	2.-3.10.2016	25,6	1,7	15,4	73%	4,9%	18%
Gola krošnja	25.-26.10.2016	31,6	3,1	10,0	76%	4,9%	19%
	5.-8.11.2016	84,4	1,3	67,2	78%	5,1%	17%
	11.-12.11.2016	29,0	1,5	19,6	86%	0,0%	14%
	18.-20.11.2016	49,2	1,3	38,1	77%	7,0%	16%

Prostorska spremenljivost prepuščenih padavin

Prostorsko razporeditev prepuščenih padavin smo spremljali v 11 točkah pod krošnjo breze (Slika 1). Pri primerjavi točk, v katerih smo izmerili največje in najmanjše deleže prepuščenih padavin, izstopajo predvsem vse tri točke (1, 2 in 3), ki so najbližje deblu drevesa (Slika 2). V primeru 25 dogodkov smo največji delež prepuščenih padavin izmerili v točki 3, po 2 dogodka sta največ prepuščenih padavin prispevala v točkah 4 in 8, 1 dogodek pa v točki 7. Najmanjše deleže prepuščenih padavin pa smo za 19 dogodkov izmerili v točki 1, za 5 dogodkov v točki 2, za 4 dogodka v točki 4, v ostalih dveh primerih pa v točkah 6 in 8.

V posameznih točkah je količina prepuščenih padavin občasno presegla količino padavin, izmerjenih na prostem. V kar 63% vseh dogodkov smo ta pojav opazili v točki 3, v preostalih 11 dogodkih pa tega pojava nismo zasledili. Izmed vseh dogodkov, ko smo pod drevesom izmerili več padavin kot na prostem, je bilo sedem takih, ko smo ta pojav zabeležili v več kot eni točki (petkrat v točki 2 in po enkrat v točkah 4, 5, 8, 10 in 11). Večinoma smo v tem primeru večje vrednosti prepuščenih padavin izmerili v dveh točkah in sicer za dogodka v obdobju gole krošnje. Izstopa pa dogodek 13.-14.7.2016, ki se je zgodil v obdobju olistane krošnje, delež prepuščenih padavin pa je bil večji kot 100% v kar 4 točkah. Ta dogodek je bil izmed vseh analiziranih najintenzivnejši z intenziteto 7,3 mm/h (Preglednica 1).

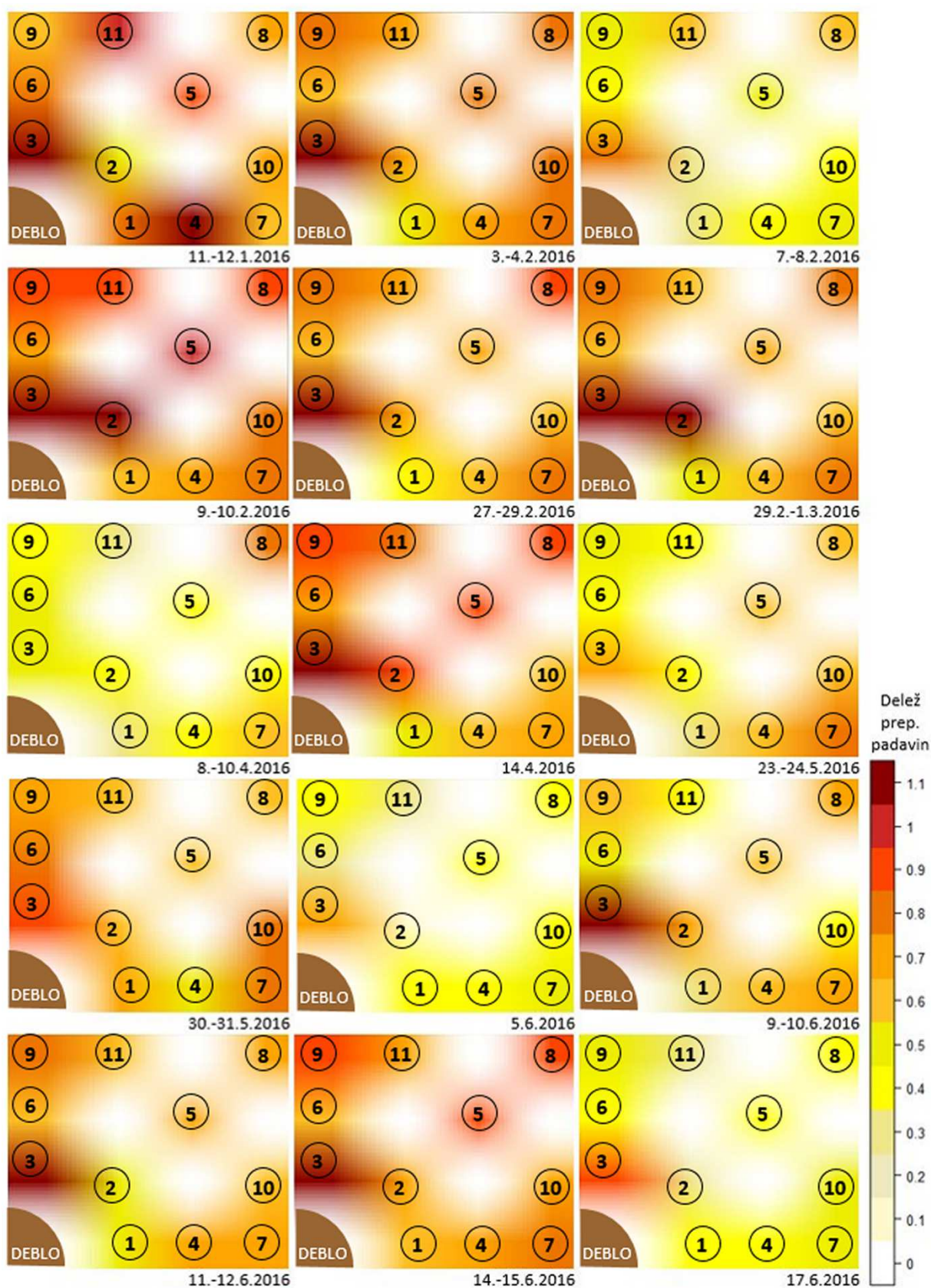
Delež prepuščenih padavin pod brezo je v povprečju v posameznih točkah znašal več kot 60%, kar se na slikah kaže v oranžnih in rdečih tonih (Slika 2). V obdobju olistane krošnje pa lahko opazimo tudi 4 dogodka v avgustu, v katerih količina prepuščenih padavin v nobeni točki ni presegla 60% (Slika 2).

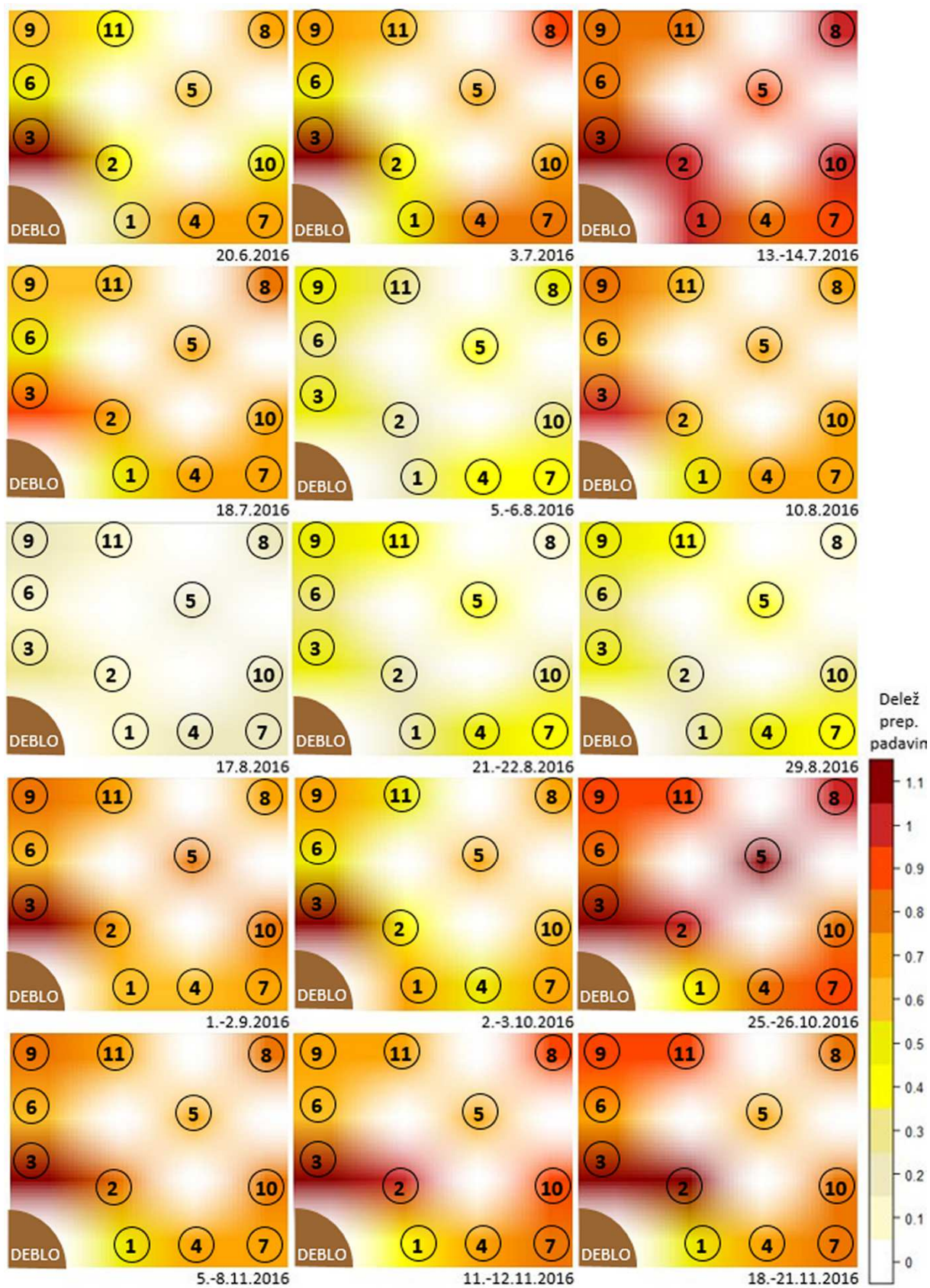
S pomočjo programa Orange (Demsar in sod., 2013) smo glede na podobnost med vzorci prostorske porazdelitve, ki jih na sliki 2 tvori delež prepuščenih padavin pod brezo, smo dogodka s hierarhičnim razvrščanjem združili v 6 skupin (Preglednica 2). V prvo skupino je bil uvrščen en sam dogodek, 17.8.2016. Izmed vseh ostalih dogodkov izstopa zaradi najnižjega deleža prepuščenih padavin, saj v nobeni točki niso presegle 30%, čeprav količina padavin ni bila majhna (12,6 mm), intenziteta padavin pa je bila z 3,4 mm/h celo

med večjimi (Preglednica 1). V drugi skupini so združeni štirje dogodki iz olistanega obdobja krošnje, vsi z manj kot 20 mm padavin, nizke intenzitete in z visokim deležem prepuščenih padavin (> 75%), ki so v primeru dveh dogodkov v točki 3 presegle padavine na prostem. Tudi v tretji skupini so združeni dogodki iz olistanega obdobja krošnje, z najmanjšimi količinami padavin (< 10 mm) in v povprečju z dokaj kratkim trajanjem ($8,7 \pm 7,1$ h), kar se odraža tudi pri nizkih deležih prepuščenih padavin, ki nikoli niso presegle 100%. Obilnejši dogodki z več kot 20 mm padavin iz olistanega obdobja so združeni v četrti skupini. Njihovo trajanje, ki se je gibalo med 4 in 15 urami, je bilo dokaj kratko, zato je bila njihova intenziteta v povprečju med višjimi ($2,5 \pm 0,5$ mm/h), delež prepuščenih padavin pa je bil blizu povprečja, skoraj pri vseh dogodkih pa je v točki 3 presegel 100%. Večina dogodkov iz obdobja neolistane krošnje je bila uvrščena v peto skupino, ki glede na količino padavin, trajanje in intenziteto združuje zelo raznolike dogodke, katerih delež prepuščenih padavin pa je bil visok in le v primeru enega dogodka v nobeni točki ni presegel 100%. Šesta skupina pa glede na meteorološke pogoje združuje zelo raznolike dogodke, katerim je skupno to, da so prepuščene padavine količino padavin na prostem presegle v več kot eni točki.

Preglednica 2: Povprečne lastnosti dogodkov, združenih v skupine s hierarhičnim razvrščanjem

Skupina	Št. dogodkov	Veget. obdobje	Padavine [mm]	Trajanje [h]	Intenziteta [mm/h]	Prepuščene padavine
1	1	Olistano	12,6	3,7	3,4	24%
2	4	Olistano	13,7	20,7	0,8	81%
3	6	Olistano	8,2	8,5	1,5	58%
4	6	Olistano	26,5	11,4	2,5	72%
5	8	Neolistano	32,5	27,3	1,5	79%
6	5	Mešano	40,6	12,0	3,8	74%

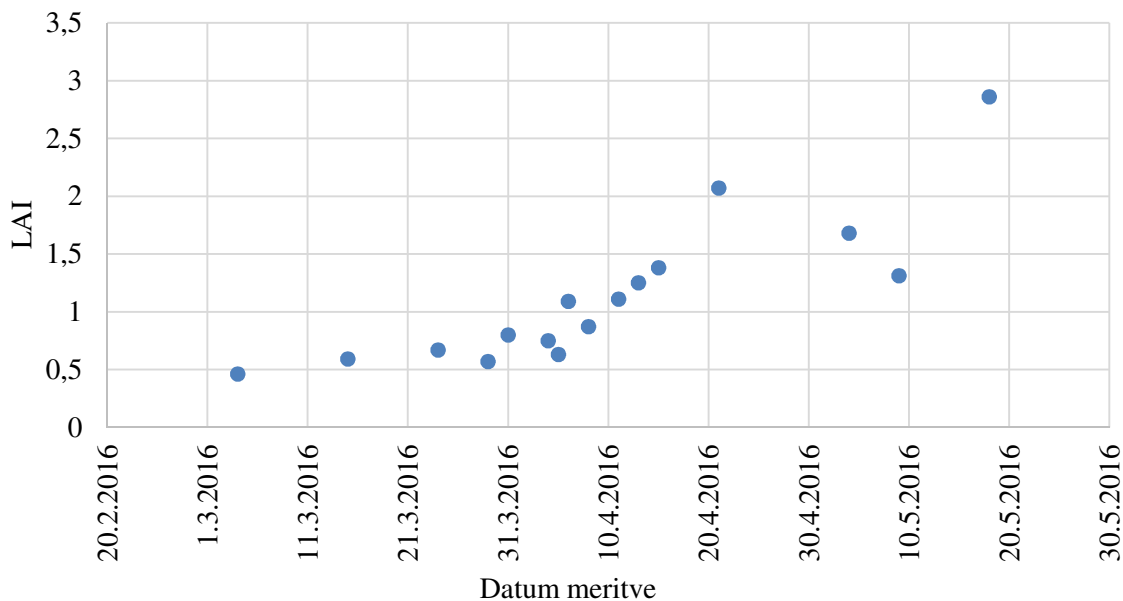




Slika 2: Prostorska porazdelitev prepuščenih padavin pod brezo za posamezen dogodek

Vpliv lastnosti krošnje

Na prostorsko porazdelitev prepuščenih padavin pod drevesno krošnjo vplivajo tudi njene lastnosti. Za brezo so značilna različna vegetacijska obdobja (olistana krošnja, odpadanje listja, gola krošnja in ozelenjevanje), za katera lahko spremembe v krošnji opišemo z indeksom listne površine (LAI), ki smo ga na raziskovalni ploskvi za brezo merili od 15.3.2016. V obdobju gole krošnje se je vrednost LAI gibala med 0,5 in 0,9 v obdobju polno olistane pa je dosegla vrednost 2,8 (Slika 3).



Slika 3: Spreminjanje vrednosti LAI za brezo v letu 2016

Določili pa smo tudi pokritost tal s krošnjo nad vsako mersko točko, v kateri smo merili prepuščene padavine. Razlike so relativno majhne (do 14%), vendar pa je očitno, da je krošnja najredkejša nad točko 3, najgostejša pa nad točko 11 (Preglednica 3).

Preglednica 3: Pokritost s krošnjo nad točkami merjenja prepuščenih padavin

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pokritost s krošnjo	76,6%	82,6%	69,9%	79,2%	83,0%	80,4%	73,7%	83,2%	74,8%	73,5%	83,9%

Razprava

Pri analizi prostorske porazdelitve padavin pod drevesno krošnjo breze najbolj izstopata dve točki (1 in 3), in sicer na desnem in levem robu merilne mreže tik ob drevesnem deblu. Na desnem robu mreže je bila postavljena točka 1, v kateri smo v večini primerov (63% dogodkov) izmerili najmanjši delež prepuščenih padavin. Na levem robu pa se je nahajala točka 3, v kateri smo večinoma zabeležili največje deleže prepuščenih padavin (87%

dogodkov), ki so v tej točki v kar 63% vseh dogodkov presegle količino padavin na prostem. Ta rezultat nakazuje, da prostorska spremenljivost prepuščenih padavin ni odvisna od oddaljenosti od drevesnega debla, temveč od drugih spremenljivk, kar so ugotovili tudi drugi raziskovalci (Carlyle-Moses in sod., 2004; Kowalska in sod., 2016).

Ena izmed spremenljivk, ki vpliva na prostorsko porazdelitev, je pokritost z drevesno krošnjo. Najmanjši delež neba je bil namreč pokrit ravno nad totalizatorjem v točki 3 (Preglednica 3), kjer smo zabeležili največji delež prepuščenih padavin. Ne glede na to pa v točki 1, kjer je prevladovala najnižja vrednost prepuščenih padavin, pokritost s krošnjo ni bila največja. Podobne rezultate so dobili tudi Dohnal in sodelavci (2014). Podrobnejša analiza s primerjavo hemisferičnih fotografij krošnje nad totalizatorji je pokazala, da se nad točko 1 nahaja več debelih vej. Llorens in Gallart (2000) sta pokazala, da je specifična kapaciteta zadrževanja vode za veje do šestkrat večja kot za listje. Posledično torej veje zadržijo več padavin kot listje. Podobno so He in sodelavci (2014) ugotovili, da je prostorska spremenljivost prepuščenih padavin odvisna od indeksa vegetacijske površine (ang. *Plant Area Index*, PAI) in ne od LAI. PAI za razliko od LAI namreč poleg listja upošteva tudi veje. Nanko in sodelavci (2011) pa so prostorsko razporejenost prepuščenih padavin pripisali obliki krošnje in razporeditvi vej.

Rezultati hierarhičnega grupiranja (Preglednica 2) kažejo še na dve vplivni spremenljivki: vegetacijsko obdobje in količino padavin. V prvih štirih razredih so večinoma združeni dogodki iz obdobja olistane krošnje, v petem pa dogodki iz obdobja gole krošnje. Pri razvrščanju je bil ta parameter torej upoštevan kot eden izmed vodilnih. V obdobju olistane krošnje so bile pri večini dogodkov največje vrednosti prepuščenih padavin izmerjene na zunanem robu krošnje, med tem ko so bile najmanjše pri srednji oddaljenosti od debla. Podobno so ugotovili tudi Nanko in sodelavci (2011), in sicer so bile večje vrednosti prepuščenih padavin pod cipreso izmerjene ob deblu, v osrednjem območju so upadle, največje pa so bile na robu krošnje. Tudi v obdobju gole krošnje smo ugotovili, da so največji deleži prepuščenih padavin poleg točke 3 še na robu krošnje, med tem ko so najmanjši deleži prepuščenih padavin v tem obdobju prevladovali na desnem robu merilne mreže (točke 1, 4, 7). Vegetacijsko obdobje je vplivalo tudi na razporeditev prepuščenih padavin v listnatem gozdu na severu Irana, kjer so v obdobju gole krošnje zabeležili več točk z več kot 100% prepuščenih padavin kot v obdobju olistane krošnje (Yousefi in sod., 2017). Povezave med LAI in prostorsko porazdelitvijo prepuščenih padavin pa niso opazili Kowalska in sodelavci (2016) ter He in sodelavci (2014), ki pa so prepuščanje padavin merili v borovem in smrekovem gozdu, kjer vegetacijska obdobja niso tako izrazita.

Posamezni razredi hierarhičnega razvrščanja, ki združujejo dogodke iz obdobja olistane krošnje (skupine 1, 2, 3, 4), pa se med seboj razlikujejo predvsem po količini padavin. V povprečju je najmanj padavin padlo za dogodke v skupini 3 (Preglednica 2), pri katerih prepuščene padavine v nobeni točki niso presegle padavin na prostem, prav tako pa pri majhnih količinah padavin, podobno kot Gomez in sodelavci (2002), nismo opazili izrazitih vzorcev razporeditve prepuščenih padavin (Slika 2). Pri manjši količini padavin drevesna krošnja namreč še ni zasičena, zato so prepuščene padavine sestavljene predvsem iz dežnih kapljic, ki padejo direktno skozi odprtine in ne preko kapljanja z vej in listov (Gomez in sod., 2002; Nanko in sod., 2011). Dogodki z večjimi količinami padavin pa so bili združeni v skupini 4. V tem primeru so bile količine padavin na prostem v točki 3 vedno presežene, porazdelitev padavin pa je pri večini dogodkov sledila enakemu vzorcu; večje deleže prepuščenih padavin smo izmerili na zunanem robu krošnje. Podoben vzorec lahko opazimo tudi za dogodke s povprečnimi količinami padavin, uvrščene v skupino 2. Proti robu drevesne krošnje se veje namreč tanjšajo, vse več je listja, kar nakazuje tudi večanje LAI od debla proti robu krošnje (Fang in sod., 2015). Zato je tam delež

prepuščanja padavin večji, o čemer so poročali tudi Fang in sodelavci (2015) ter Nanko in sodelavci (2011).

Večinoma so prepuščene padavine presegle padavine na prostem le v eni točki, med tem ko smo za 5 dogodkov ta pojav zabeležili v več točkah. Taki dogodki so bili združeni v skupini 6. Čeprav so količine padavin in intenzitete teh dogodkov dokaj raznolike, sta bila v to skupino uvrščena dogodka z največjo količino padavin in z najvišjo intenziteto (Preglednica 1). Pri teh dogodkih smo večje vrednosti prepuščenih padavin izmerili še v točkah 2, 4, 5, 8, 11 in 12. Vse se nahajajo v osrednji liniji totalizatorjev oziroma na zunanjem robu krošnje (Slika 1), kjer smo večkrat opazili povečano koncentracijo prepuščenih padavin. Tudi pod oljkami v Španiji so Gomez in sodelavci (2002) večkrat namerili deleže prepuščenih padavin večje od 100%, najpogosteje prav v točkah na robu drevesne krošnje, med tem ko je v hrastovem gozdu v Mehiki količina prepuščenih padavin preseгла količino padavin na prostem v določenih točkah, t.i. »drip points« (Carlyle-Moses in sod., 2004).

Zaključki

Prepuščene padavine pod drevesno krošnjo niso razporejene homogeno, ampak se njihova količina spreminja od točke do točke. Na posameznih mestih lahko celo presežejo količino padavin na prostem. Razporeditev prepuščenih padavin pa ni odvisna od oddaljenosti od drevesne krošnje, temveč od lastnosti krošnje in lastnosti padavinskega dogodka. Izmed lastnosti krošnje bolj kot indeks listne površine na prostorsko porazdelitev padavin vpliva pokritost s krošnjo in položaj vej v sami krošnji. Pod območjem z gostejšimi in debelejšimi vejami je prepuščanje padavin manjše. Velik vpliv pa ima tudi količina padavin. Pri padavinah, manjših od 10 mm, prepuščene padavine v nobeni točki niso presegle padavin na prostem, v primeru padavin v avgustu, manjših od 13 mm, pa je bila poleg tega porazdelitev padavin še homogena. Največja koncentracija prepuščenih padavin je za dogodke z več kot 10 mm padavin, ne glede na vegetacijsko obdobje, prevladovala na robu krošnje, kar je bilo največkrat ugotovljeno tudi v ostalih podobnih študijah.

Literatura

- Andre, F., Jonard, M., Ponette, Q. (2008). Influence of species and rain event characteristics on stemflow volume in a temperate mixed oak-beech stand, *Hydrological Processes* 22, 4455–4466.
- Bassette, C., Bussiere, F. (2008). Partitioning of splash and storage during raindrop impacts on banana leaves, *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 991-1004.
- Brandt, C.J. (1989). The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies, *Catena* 16, 507–524.
- Carlyle-Moses, D.E., Flores Laureano, J.S., Price, A.G. (2004). Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico, *Journal of Hydrology* 297, 124–135.
- Crockford, R.H., Richardson, D.P. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate, *Hydrological Processes* 14, 2903–2920.
- Demsar, J., Curk, T., Erjavec, A., Gorup, C., Hocevar, T., Milutinovic, M., Mozina, M., Polajnar, M., Toplak, M., Staric, A., Stajdohar, M., Umek, L., Zagar, L., Zbontar, J., Zitnik, M., Zupan, B. (2013). Orange: Data Mining Toolbox in Python, *Journal of Machine Learning Research* 14, 2349–2353.

- Deguchi, A., Hattoria, S., Park, H. (2006). The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model, *Journal of Hydrology* 318, 80–102.
- Dohnal, M., Černý, T., Votrubová, J., Tesař, M. (2011). Rainfall interception and spatial variability of throughfall in spruce stand, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 62, 277–284.
- Dunkerley D. (2000). Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies, *Hydrological Processes* 14, 669–678.
- Fang, S., Zhao, C., Jian, S. (2015). Spatial variability of throughfall in a *Pinus tabulaeformis* plantation forest in Loess Plateau, China, *Scandinavian Journal of Forest Research*, DOI: 10.1080/02827581.2015.1092575.
- Gomez, J.A., Vanderlinden, K., Giraldez, J.V., Fereres, E. (2002). Rainfall concentration under olive trees, *Agricultural water management* 55, 53-70.
- He, Z., Yang, J., Du, J., Zhao, W., Liu, H., Chang, X. (2014). Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China, *Agricultural and Forest Meteorology* 188, 58–63.
- Herwitz, S.R. (1987). Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation, *Earth Surface Processes and Landforms* Volume 12, 425-432.
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., Weiler, M. (2006). Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity, *Advances in Water Resources* 29, 974–986.
- Kowalska, A., Boczon, A., Hildebrand, R., Polkowska, Z. (2016). Spatial variability of throughfall in a stand of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with deciduous admixture as influenced by canopy cover and stem distance, *Journal of Hydrology* 538, 231–242.
- Levia, D.F., Hudson, S.A., Llorens, P., Nanko, K. (2017). Throughfall drop size distributions: a review and prospectus for future research, *WIREs Water* 4, e1225.
- Llorens, P., Gallart, F. (2000). A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* 240, 131-144.
- Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., Moriwaki, H. (2011). Spatial variability of throughfall under a single tree: Experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy, *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 1173– 1182.
- R Core Team. (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing 2015, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (4. 10. 2017).
- Sarkar, D. 2017. Package 'lattice'. <http://lattice.r-forge.r-project.org/> (25. 10. 2017)
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. (2008). Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia, *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 121–134.
- Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E., Simpson, J.R. (2000). Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14, 763-784.
- Yousefi, S., Sadeghi, S.H., Mirzaee, S., van der Ploeg, M., Keesstra, S., Cerdà, A. (2017). Spatio-temporal variation of throughfall in a hyrcanian plain forest stand in Northern Iran. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 65, DOI: 10.1515/johh-2017-0034.
- Zabret, K. (2013). The influence of tree characteristics on rainfall interception. *Acta hydrotechnica* 26, 99–116.
- Zabret, K., Šraj, M. (2015). Can Urban Trees Reduce the Impact of Climate Change on Storm Runoff? *Urbani izziv* 26, 165-178.
- Zabret, K., Rakovec, J., Šraj, M. (2017). Evaluation of drop size distribution impact on rainfall interception by trees. *Proceedings* 1, 117, 1-10.